

# 泥水工法における泥水の品質管理の自動化（その4）

——自動計測装置（2号機）の開発——

喜田大三 辻博和  
炭田光輝 千野裕之

## Studies on Automatic Control System for Quality of Slurry in Underground Excavation Method (Part 4)

——Development of Measuring Apparatus for Wall-building Characteristic,  
Density, Viscosity, and pH of Slurry——

Daizo Kita Hirokazu Tsuji  
Mitsuteru Sumida Hiroyuki Chino

### Abstract

In a slurry excavation system, there is much demand for automation of quality control of the slurry. Therefore, an apparatus for automatically measuring wall-building characteristic, density, viscosity, and other properties was developed. The apparatus is capable of measuring the properties of slurry as it goes through a detection tank equipped with sensors when being returned to the circulation tank by pump-up. Thus, the quality of slurry can be measured full-automatically on a continuous basis. Accordingly, excellent measurement results can be obtained at all times using this apparatus in the field, and by immediately reflecting the results in field work, it is possible to make savings in labor and improve quality control of slurry.

This report gives an outline of the apparatus developed and the results obtained with this apparatus on application to several diaphragm wall construction projects.

### 概 要

泥水工法において、泥水の品質管理の自動化の要望が大きい。自動化するためには品質計測の自動化が必要である。そこで、掘削泥水などを対象とした泥水品質の自動計測装置を開発した。計測項目は造壁性、比重、粘性、pH および温度であり、対象とする泥水をポンプアップし、検出槽に設置してある各種センサーを経由してリターンする過程において計測するものである。したがって、この装置を現場内の作業箇所を設置し、例えば循環槽の泥水をポンプアップすることによって、掘削泥水の品質を全自動で連続的に計測することができる。それゆえ、常時精度の高い泥水の測定結果が得られ、現場の作業に即座に反映させることによって泥水品質管理の省力化・向上を計ることができる。この報告では、装置の概要を紹介するとともにこの装置を地中連続壁工事の数現場に適用して得られた成果について述べる。

#### 1. はじめに

地中連続壁工法や泥水シールド工法などの泥水工法では、壁面・切羽の安定、掘削土砂の運搬・分離などは泥水を介して行なわれるので、泥水にはこれらの機能を発揮するために必要な所定の品質が要求される。そのため、泥水の品質管理は必要不可欠である。

泥水の品質管理は、品質の計測・判定・対策の実施で構成され、一般に計測は泥水を採取したのち手作業で行なわれ、その判定は経験豊富な現場技術者によってなされていた。しかし、工事規模の拡大・構築物の用途拡大

などに伴って、泥水品質の向上が今まで以上に叫ばれ、さらに省力化・コスト低減のために泥水の品質管理の自動化が望まれている。

さて、泥水品質の管理項目は、造壁性・比重・粘性・砂分率である。また、管理項目ではないが泥水品質の劣化の主要因の一つであるセメント成分の混入状況を把握するために pH は必要な計測項目であり、併せて計測されている。

ところで、泥水の品質管理の自動化を達成するに当たっては、言うまでもなく品質計測の自動化を計る必要があるが、投資効果を考慮する必要がある。品質管理にお

いて、投資効果が大きいと考えられるのは掘削泥水の管理などであり、これらの泥水においては必ずしも砂分率の計測は必要としないので、当面の自動計測項目は、造壁性・比重・粘度・pHとし、開発を進めた。

筆者らは、既に、比重・粘度・pH・温度を連続計測できる泥水品質の自動計測装置の1号機を開発し<sup>1)</sup>、地中連続壁工事に適用して掘削泥水の泥水品質の計測のほかコンクリート打設時の回収泥水の転用性の可否さらには掘削泥水の化学的再生処理の必要性の有無をリアルタイムで判断可能とした。その後、造壁性を全自動で計測できる装置を開発している<sup>2)</sup>。今回開発した2号機は、1号機を改良し、さらにこの造壁性の計測も可能とした装置である。

ここでは、装置の概要を紹介するとともに、地中連続壁工事に適用して得られた計測値を従来の手作業による測定値と比較検討する。

## 2. 自動計測装置（2号機）の概要

### 2.1. 装置の仕様

2号機は泥水の造壁性・粘性・比重・pH・温度の各項目が計測可能な装置であり、その全景を写真-1に示す。主な仕様は表-1に示すように、各種センサーが設置してある検出槽部と作動指示・表示を行なう計装パネル部から構成されており、外形寸法はL 2,000×W 1,450×H 2,410、総質量は約1tである。

### 2.2. 計測手法

(1) 造壁性 新しく開発した特殊吸水性ろ紙の毛管吸引力を利用して、泥水を固形分と水分に分離し、分離水の毛管上昇速度をレーザー光線によって計測。

(2) 粘性 回転体を泥水中で公転させ、その回転軸の受ける抵抗をトルク検出器で計測。回転軸が泥水に直接接触しないように工夫した特種な回転装置を考案し、精度の向上を果たしている。

(3) 比重 ひずみゲージ式微小圧力変換器を用いて、

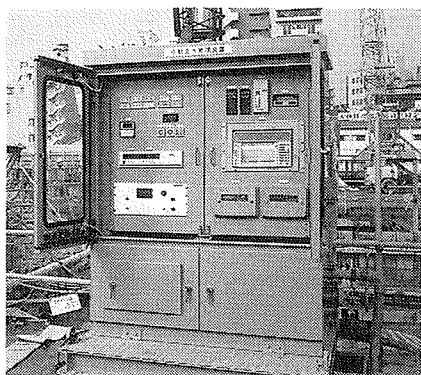


写真-1 2号機の全景

検出槽部	泥水循環ポンプ	Q200 1/min×H15~20m
	流量計	面積式, 0~250 1/min, バイパス回路付
計測パネル部	採泥口	Φ20, 蛇口
	検出槽	L450×W300×H1,400, SUS 304
	造壁性	レーザーセンサーで毛管上昇時間を計測*
	比重	2 深度の泥水圧を計測
その他	粘性	回転ボブの所定回転数のトルクを計測
	pH	ガラス電極式
計測指示・表示	温度	熱電対
	造壁性	計測間隔, 毛管上昇時間
警報装置	比重	上側の圧, 下側の圧, 差圧
	粘性	回転数, トルク
記録装置	pH	pH
	温度	液温
その他	寸法	L 2,000×W 1,450×H 2,410
	質量	約 1t
	電源	3 相 200V

\* 検出槽から別のポンプで採泥し、造壁性試験装置で検出

表-1 2号機的主要仕様

2 深度（1 m 差）における泥水の圧力差を計測し、演算。

(4) pH・温度 市販の計器で計測。

### 2.3. 泥水品質の計測方式

図-1 に模式的に示す。図示するように、対象とする泥水をポンプアップし、検出槽に設置してある各種センサーを経由して泥水がリターンする過程において各項目を計測するものである。なお、造壁性の計測においては造壁性試験装置に設置してある定量ポンプで検出槽の泥水を採泥して計測する。したがって、この装置を現場内の作業箇所を設置し、例えば循環槽の泥水をポンプアップすることによって、掘削泥水の品質を全自動で連続的に計測することができる。

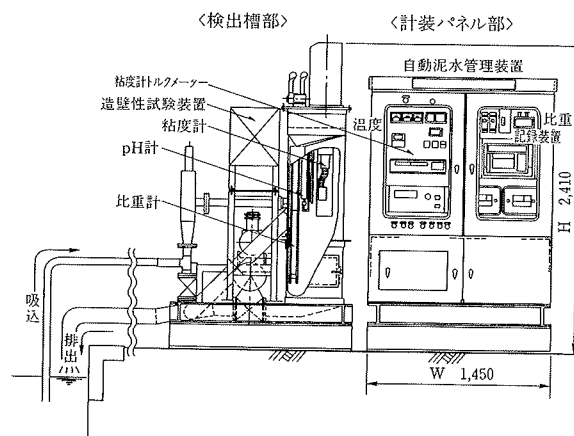


図-1 2号機の全体図

### 3. 自動計測装置（2号機）の性能

2号機は既に数現場の地中連続壁工事に適用し成果を上げている。

図-2は下水処理場建設工事のための土留め・止水壁を築造する地中連続壁工事における掘削泥水の計測結果の一例である。なお、掘削機はハイドロフーズを使用し、地中連続壁の仕様は壁厚1.5m、深さ58mであった。この図はジョイントパネル掘削時の循環泥水の計測例で、既にコンクリートを打設している両側の先行パネルのコンクリートを片側10cmずつカッティングしながら掘削したときの1日の計測結果を示すものである。

掘削時には常時セメント分が混入してくるけれども、分散剤による化学的再生処理を適切に行なっているため、泥水品質は後述する管理基準値内に管理されていることを読み取ることができる。すなわち、トルクは140~160g・cm、毛管上昇時間は300秒以上、比重は1.04~1.07で良好な性状を示している。さらに、比重について詳しく見ると掘削開始時には1.04であったものが27mの掘削によって1.07に徐々に増加しており、掘削に伴って細粒分が泥水に混入していることがわかる。

上述のように、2号機によって常時精度の高い泥水品質の計測が可能であることが明らかになった。以下、ここでは開発した自動計測装置の比重、粘性(トルク)、造壁性(毛管上昇時間)の計測値と同時に採取した泥水の手作業による計測値とを比較検討する。

#### 3.1. 比重

泥水の比重は壁面の安定、掘削能率、コンクリート打設などに関連する重要な性質である。比重の下限値は壁

面を安定させるうえで必要な泥水圧から算出される泥水比重を考えればよい。比較的軟弱な砂層を想定した試算例では、泥水位と地下水位の差がない場合には必要な泥水比重は一般の設計泥水比重を上回っているため壁面の安定は保てないが、地下水位を低下させると必要泥水比重も急激に減少し、2m程度の水位差がある場合には計算上は清水に近い比重でも壁面は安定する。そのため、施工に当たっては、必要に応じて周辺地盤の地下水位低下や地盤改良を行なって壁面の安定を計るので、泥水品質の観点からは造壁性が確保されていれば、清水程度の値でも問題はない。

一方、ポリマー泥水の場合、造壁性はポリマーと土粒子が複合体を形成することによって発現される。これに必要な土粒子の量は、混入する土砂の種類によって若干変化するが泥水比重に換算すると1.01程度であるので、下限値は1.01で管理している。

上限値は、掘削能率、コンクリート打設の際のコンクリートの置換性から決めており、掘削時には1.15~1.20程度、コンクリート打設時には1.10~1.15程度で管理されることが多い。

さて、図-3は計測装置による比重とマッドバランスによる比重との関係を示すものである。図から明らかなように、両者の値は±0.02程度の誤差範囲内でほぼ一致している。なお、2号機では圧力センサーの深度差を1号機の2倍の1mにしたが、精度の向上は認められなかった。しかし、この程度の誤差であれば品質管理上は許容できると考えている。

なお、掘削に伴う細粒分の混入状況を把握し、余剰となる廃棄泥水の処理計画を立てるためには比重の計測は

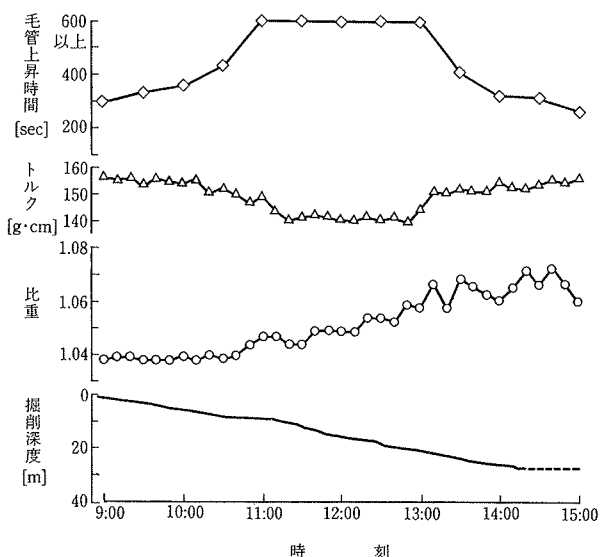


図-2 コンクリートカッティング時の計測結果の一例

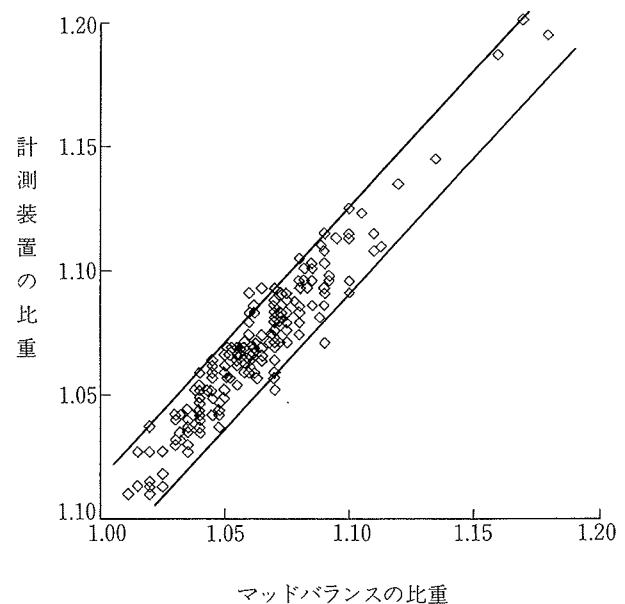


図-3 比重計測値の比較

重要である。比重の±0.02の誤差は泥水 m<sup>3</sup> 当たりの土量に換算すると±30 kg 程度の誤差になるので、さらに精度のよい計測値が望まれる。

### 3.2. 粘性

粘性は逸泥防止、掘削土砂の運搬・分離、スライム処理などに左右する。逸泥が懸念される地盤あるいは泥水浸透によって肌落ちするような地盤では下限値を厳しく管理しなければならないが、通常地盤においては掘削土砂の分離、スライム処理などにおいて低ければ低いほうが望ましい。しかし、後述する造壁性の範囲を満足する泥水の最低粘性がファンネル粘度で20秒前後であるので、これを下限値として採用している。上限値は、スライムの沈降速度、ポンプ負荷などから30～35秒に設定されることが多い。

図-4 は計測装置の回転トルクとファンネル粘度の関係を示すものである。なお今回、回転部分のベローズの耐久性の向上を計るために回転ボブなどの改良を加えているので1号機のトルクの値とは違う。図から明らかなように、ファンネル粘度の増大に対応してトルクの計測値もほぼ直線的に増大している。回転数のバラツキは5 rpm 以内であり、これを合めてファンネル粘度との誤差は通常の泥水の場合±2秒以内程度である。

### 3.3. 造壁性

造壁性は壁面の安定に必要なマッドケーキを形成する性質およびマッドケーキの止水性の目安を与えるものであり、壁面の安定、逸泥防止に寄与する重要な性能である。造壁性の管理基準は、実績や室内試験の結果から、大林式の減圧ろ過試験ではその脱水量が0～5 ml の場合そのまま使用可、5～8 ml の場合注意して使用し再生する、8 ml 以上の場合使用不可としている。

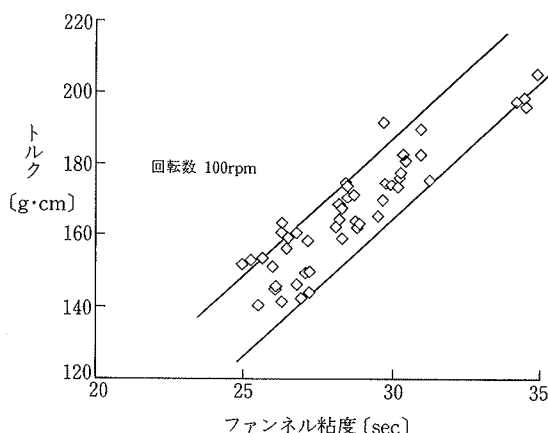


図-4 トルクとファンネル粘度

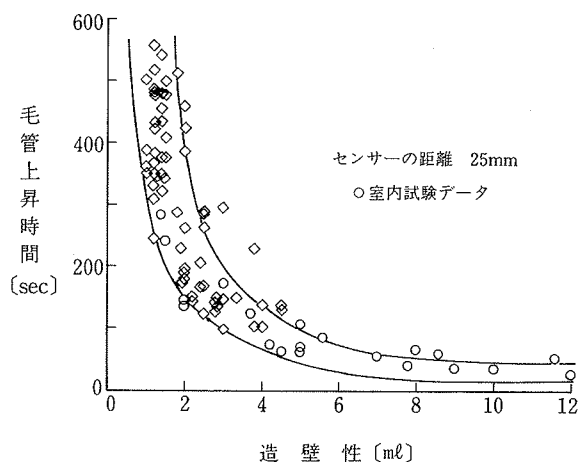


図-5 毛管上昇時間と造壁性

図-5 は毛管上昇時間と造壁性の関係を示すものである。前報の結果も併記しているが、非常に再現性がよい。大林式の管理値の5 ml, 8 ml に対応する時間は50～100秒, 25～50秒であり、造壁性はこの毛管上昇時間で十分管理できる。

## 4. おわりに

2号機の開発によって当初開発目標とした泥水品質項目が全てが自動で連続的に計測可能になった。泥水の品質管理においては計測時点における管理項目のそれぞれの計測値は言うまでもなく重要であるが、泥水品質を判定し対策を立てるうえではある掘削期間を通じての各項目の計測値の動きさらにはそれらの相互関係などを把握することがさらに重要である。今回開発した自動泥水品質計測装置は上述した必要情報を精度よく提供でき、その計測結果は現場の作業に即座に反映させることができる。それゆえ、この装置の活用によって泥水品質管理の省力化・向上を計ることができる。

ところで、泥水工法においては掘削泥水以外の泥水品質も計測する必要があるが、これらの計測頻度は少ないので、簡易な計測装置で計測すればよいと考えている。この装置は既に開発し、実用化しており、機会があれば報告する予定である。

## 参考文献

- 1) 辻, 喜田, 炭田: 泥水工法における泥水の品質管理の自動化(その1) —粘度および比重の自動計測装置の開発—, 大林組技術研究所報, No. 33, (1986), pp. 22～26
- 2) 喜田, 辻, 炭田: 泥水工法における泥水の品質管理の自動化(その3) —造壁性の自動計測装置の開発—, 大林組技術研究所報, No. 37, (1988), pp. 42～45